

Modelo de formulación para comprender los costes y tiempos de los acarreos terrestres para el reparto de mercancías mediante Transporte Rodado de Mercancías y Transporte Marítimo de Corta Distancia.

Manuel Rodríguez Nuevo
Doctorando
Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas
Universitat Politècnica de Catalunya

Dr. F. Xavier Martínez de Osés
Profesor titular de universidad
Secretario Académico del DCEN
Universitat Politècnica de Catalunya
Pla de Palau, 18
08003- Barcelona

Palabras claves: Transporte Marítimo de Corta Distancia, Acarreo Terrestre, Transporte por Carreteras, Simulador de Costes y Tiempos para el Transporte, Logística del Transporte

Resumen

En el desarrollo del mundo globalizado cada vez resulta de mayor importancia cómo se distribuyen las mercancías desde su origen a su destino. Es cierto que la tendencia y la conciencia tiende a realizar transportes más respetuosos con el medioambiente y más eficientes. En muchas ocasiones nos encontramos con la ilógica situación de contratar transportes sin un criterio razonado. El propósito de este artículo es plantear la realización de un simulador de costes y tiempos para valorar la posibilidad de llevar a cabo un transporte de mercancías con el modo más acertado, sabiendo de antemano cuál será su coste y su precio. Debemos entender que el modo de transporte de carretera es necesario e incluso imprescindible, pero en muchos de los escenarios no es el más conveniente. Planteamos por tanto, la realización de un transporte multimodal e incorporar en el mismo el TMCD (Transporte Marítimo de Corta Distancia).

En este artículo presentamos uno de los capítulos desarrollado en el trabajo para la tesina doctoral que desarrolla su autor¹ y dirigido por el co autor, profesor del Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques de la Universitat Politècnica de Catalunya. En esta parte, presentamos un modelo basado en exponentes que explican muy claramente las economías de escala producidas en un transporte masivo como el buque, la función Cobb-Douglas es una forma de función de producción, ampliamente usada para representar las relaciones entre un producto y las variaciones de los insumos tecnología, trabajo y capital. La función de producción es la función de potencia, la forma de esta función de producción depende del exponente. La ventaja más importante es que puede transformarse en una función lineal cuando se expresa en términos logarítmicos haciéndola susceptible a la regresión lineal.

¹ Doctorando del programa de Ciencias e Ingeniería Náuticas, título de la tesis doctoral: “**Diseño de un Simulador de Costes y Tiempos, para evaluar el Transporte Rodado de Mercancías versus Transporte Marítimo de Corta Distancia**”

1 Los Acarreos Terrestres

1.1 Concepto y Definición

La organización del Transporte Multimodal como sistema o servicio, es bastante complejo. Esta complejidad viene dada por los diferentes segmentos del transporte (marítimo, aéreo, terrestre), las operaciones de acarreo de las mercancías, los transbordos en uno o varios modos, los tránsitos, la documentación, el personal que hace posible que se realicen en forma eficiente las diferentes etapas del transporte, las comunicaciones y muchos otros factores que son determinantes en la “organización del transporte Multimodal” como sistema operativo.

La tarea organizativa del Transporte Multimodal ha sido grande y en ella han participado innumerables entes oficiales, privados y particulares que con su trabajo han logrado crear, desarrollar y optimizar este efectivo sistema de transporte combinado.

Los acarreos generan unos sobre costes al sistema modal de transportes, que por lo general es asumido por el último eslabón de la cadena logística y que es el cliente final, es decir el ciudadano que se abastece de la mercancía. Hay que dar por este motivo una atención especial a los costes generados por los acarreos terrestres. Diversos estudios realizados y concretamente este mismo estudio, demuestran que el acarreo terrestre aporta unos costes de aproximadamente el 25 % del coste total de un transporte de mercancías si se trata de TMCD, demostrando que una ruta de éxito sería aquella que no excediese del 30 % de la distancia total de un trayecto²

La estructura del transporte TMCD no se puede entender si no existieran los acarreos terrestres, estos son la primera y la última de las etapas de un transporte de mercancías. El área de influencia de los puertos (Hinterland) abarca cada vez mayores distancias, ubicando los puntos de las Zonas de Actividades Logísticas (ZAL) en distancias que a veces superan centenares de kilómetros. Podemos afirmar de este modo que la carretera cierra el bucle mediante los acarreos en origen (*i*) y los acarreos en destino (*j*). Las (ZAL) tienen gran importancia en cuanto a la actuación de consolidar mercancías y también proveer todos los servicios necesarios que el transporte requiere. La tendencia es reforzar el ferrocarril potenciando de esta forma las áreas de actividades logísticas pero de sobras son conocidos los problemas de infraestructuras y costes que el ferrocarril conlleva.

En la actualidad, las deficiencias en las infraestructuras y en la explotación de los recursos, provocan que el acarreo terrestre sea imprescindible para realizar un transporte de mercancías; siendo estas etapas necesarias para cualquier tipo de transporte ya sea mediante barco o tren. Siendo de esta forma casi predominante el transporte puro por carretera para mover mercancías.

² Optimización del transporte de mercancías mediante TMCD. Tesina de máster Xavier Ametller (2007).

1.2 Tiempo dedicado al acarreo terrestre

El tiempo que se dedique para el acarreo, dependerá primordialmente de la magnitud del trayecto y el cumplimiento de los descansos obligatorios y que deben ser una norma que deberán acatar todos los transportistas terrestres ver (tabla 1-1).

Tabla 1. Tabla con los tiempos dedicados a cada proceso a lo largo del trayecto. Según la normativa vigente.

Tiempo de Conducción (h)	Tiempo de descanso (h)	Tiempo de Trayecto (h)	Tiempo de Trayecto + 3 horas de Estiba / desestiba (h)	Trayecto realizado (km)
0	0	0	0	0
4,5	0	4,5	7,5	-
10	0,75	10,75	13,75	700
14,5	9,75	24,25	27,25	-
20	10,5	30,5	33,5	1.400
24,5	19,5	44	47	-
29	20,25	49,25	52,25	2.030
33,5	29,25	62,75	65,75	-
38	30	68	71	2.660
42,5	41	83,5	86,5	-
47	41,75	88,75	91,75	3.360

*No se incorpora (+4) en t=0 para no penalizar trayectos demasiado cortos.

Fuente: elaboración propia a partir de la Directiva 2002/15/CE

Se ha comentado que las normas establecidas en cuanto a los descansos, es de cumplimiento sin discusión para los transportistas que realicen transportes terrestres por carretera. Para este trabajo se considera que los conductores cumplen escrupulosamente con la legislación que se refiere a los descansos de circulación en el transporte de mercancías por carretera (Directiva 2002/15/CE), siendo para estos el cumplimiento de descansos diarios y los máximos consecutivos de circulación: cinco (5) días en total, en dos (2) de ellos se puede conducir 10 horas y en los otros tres (3) días se puede conducir 9 horas; lo que suma un total de 47 horas de circulación a lo largo de una semana.

Podemos comprobar que la suma del tiempo real de conducción T^{rc}_{ij} y los descansos obligatorios T_d , es el Tiempo total del trayecto T^t_{ij} como podemos ver en la expresión (1-1).

$$T^t_{ij} = T^{rc}_{ij} + T_d \quad (1-1)$$

Los tiempos para el descanso varían en función de las horas necesarias de conducción requeridas para realizar el transporte de las mercancías que se van acumulando, en este caso se expresa de forma lineal, el Tiempo Total T^t_{ij} con el Tiempo Real dedicado a la conducción T^{rc}_{ij} .

En función de las horas acumuladas por la conducción, los tiempos de descanso son distintos, de tal forma y para este trabajo, se ha simplificado esta circunstancia expresando de forma lineal el Tiempo Total T^t_{ij} con el Tiempo Real de Conducción T^{rc}_{ij} ,

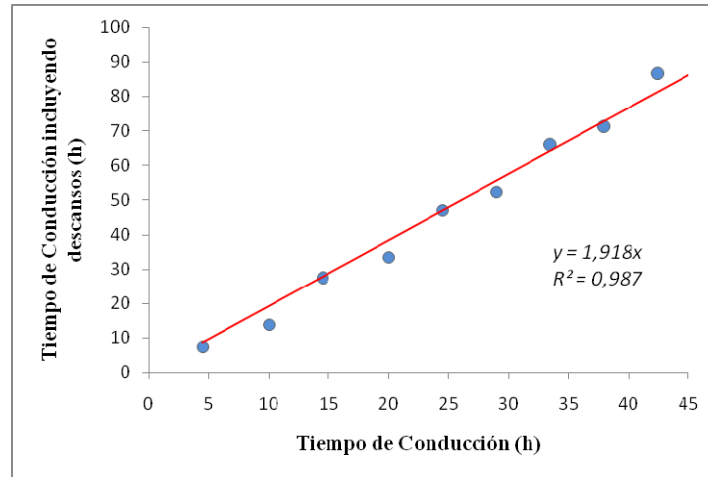
obteniendo este último como el cociente de la distancia entre dos puntos d_{ij} y su velocidad promedio v_p^3 .

Si aplicamos la reglamentación que concierne a la ordenación del tiempo del trabajo de las personas que realizan actividades móviles en el transporte por carretera (Reglamentación Europea 2002/15/CE), la cual fija los horarios obligatorios para los descansos de los conductores de camiones, obtenemos una función que relaciona el Tiempo Real de Conducción T^{rc}_{ij} con el Tiempo Total T^t_{ij} . En la expresión (1-2) se considera un tiempo extra de 3 horas para cada trayecto, representando el tiempo que se dedica a la estiba y la desestiba de la mercancía tanto en el origen como en el destino.

$$T^t_{ij} = 1,918T^{rc}_{ij} \quad (1-2)$$

En la figura 1, podemos ver la relación lineal entre el tiempo de conducción en relación con el tiempo del trayecto, en el cual ya queda integrado el tiempo de los descansos obligatorios y el tiempo dedicado a la estiba /desestiba.

Figura 2. Relación entre el tiempo de conducción y el tiempo total del trayecto, incluyendo los descansos obligatorios.



Fuente: elaboración propia a partir de la Directiva 2002/15/CE

De esta forma y considerando la velocidad promedio v_p en 72 km/h, se obtiene que el tiempo, se asocia al tramo terrestre de la cadena (en horas), en función de la distancia recorrida, como el indicado en la expresión (1-3).

$$T^t_{ij} = 1,918T^{rc}_{ij} = 1,918 \frac{d_{ij}}{v_p} = 0,0266d_{ij} \text{ (horas)} \quad (1-3)$$

donde;

d_{ij} = distancia directa terrestre entre el origen (i) y el destino (j) (km)

v_p = velocidad promedio del camión en 72 km/h

³ La velocidad promedio que en el estudio se considera, nos viene dada por la relación origen/destino entre España y diferentes países del estudio, de tal forma que consultadas en calculadores de rutas se ha obtenido una media. En el cálculo desestimamos las zonas donde no es posible calcular orígenes/destinos (caso como Georgia).

1.3 Coste unitario para el tramo terrestre

Obtenidos los tiempos del acarreo, es necesario llegar hasta la consecución de los costes que estos producen dentro del coste total de un transporte de mercancías, en el presente punto estimaremos los costes asociados al tiempo que se dedica al acarreo y que en el anterior punto ha quedado establecido. Es de vital importancia determinar que los costes que se atenderán al cálculo son todos aquellos que se efectúen a lo largo del recorrido puesto que estos dependerán de la distancia recorrida. De esta forma y en concordancia con el *Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera*⁴ (Ministerio de Fomento 2008).

El procedimiento de estos costes se realizan bajo dos circunstancias específicas: Costes por tiempo y costes kilométricos.

- Costes por Tiempo
 - Amortización de la cabeza tractora y el semirremolque
 - Financiación de la cabeza tractora y el semirremolque
 - Nomina del personal de conducción
 - Seguros del vehículo
 - Costes fiscales
 - Dietas
- Costes Kilométricos
 - Combustible
 - Neumáticos
 - Mantenimiento
 - Reparaciones

En la tabla 1-2, detallamos los costes relativos al resumen realizado por el *Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera*, correspondiente al último trimestre del ejercicio del año 2008.

Los costes directos del desplazamiento de la mercancía serán de esta forma, la suma de todos los factores que relacionan a costes efectuados en el tiempo y los costes de los factores que influyen sobre los costes kilométricos.

⁴ El principal objetivo del Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera, es proporcionar elementos de juicio fiables a partir de los cuales las partes contratantes puedan acordar libremente el precio que estimen más conveniente con la certeza de estarlo haciendo sobre bases razonablemente contrastadas.

Figura 3. Contribución del porcentaje para cada coste del tramo terrestre perteneciente a la cadena de transporte.

	COSTES DIRECTOS ANUALES	
	Euros	Distribución (%)
Costes directos	110.744,94	100,0%
Costes por tiempo	57.390,95	51,8%
Amortización del vehículo	9.658,51	8,7%
Financiación del vehículo	2.197,65	2,0%
Personal de conducción	27.375,14	24,7%
Seguros	6.667,08	6,0%
Costes fiscales	902,07	0,8%
Dietas	10.590,50	9,6%
Costes kilométricos	53.353,99	48,2%
Combustible	42.681,90	38,5%
Neumáticos	6.182,09	5,6%
Mantenimiento	1.800,00	1,6%
Reparaciones	2.690,00	2,4%
kilometraje anual (km / año)	100.000	
kilometraje anual en carga (km / año)	85.000	
Costes Directos (euros / km recorrido)	1,107	
Costes Directos (euros / km cargado)	1,303	

Fuente: Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Fomento)

De esta forma obtenemos que el coste directo total de los acarreo terrestres (suma de costes en tiempo, más los costes kilométricos) son de:

Costes Directos Anuales = 57.390,95 € + 53.353,99 € = 110.744,94 €

Coste Total de los Acarreo Terrestres €/km/recorrido = 110.744,94 / 120.000 km = 0,922 €/km o de otra forma;

Coste Total de los Acarreo Terrestres €/horas = 110.744,94 / 1.800 h⁵ = 61,524 €/hora

El cálculo para la distancia del trayecto en cuestión para los costes totales derivados de los acarreo terrestres, se valorarán en €/km/recorridos o €/h. Siendo para este estudio el valor de seguimiento y el de más importancia para nosotros el que corresponde al representado por €/km/recorridos que tiene el valor de **0,922 €/km**.

A este coste unitario es necesario y conveniente añadir un coste que es el acceso a la utilización de las autopistas, es decir el coste de los peajes. Tendremos como valor 0,0629 €/km⁶ que será el correspondiente al pago de las autopistas de peajes, asumiendo que este valor variará según el trayecto y el paso por determinados países. Tenemos de esta forma un valor unitario por kilómetro recorrido de 0,922 €/km, de tal forma deduciremos que el coste total para ir de un origen *i* a un destino *j* (C_{ij}^t) vendrá determinado por la expresión (1-4).

$$C_{ij}^t = 0.9848d_{ij}(\text{horas}) \quad (1-4)$$

⁵ Las horas anuales dedicadas al trabajo, son de 1.800 horas.

⁶ Este valor es el valor medio obtenido por los pagos sobre las autopistas de peajes obtenido por los calculadores de rutas.

donde; d_{ij} = Distancia del trayecto directo entre origen (i) y destino (j) (km)

Deberemos tener en cuenta el coste asociado al tiempo que la mercancía permanece en el buque. Asumiendo esta hipótesis podríamos obtener que los gastos correspondientes a la cabeza tractora (amortización, financiación, seguros, costes fiscales, dietas) y los costes kilométricos (combustible, neumáticos, reparaciones, mantenimientos) pueden considerarse no significativos, siendo del grupo total de costes; la amortización, financiación, seguros y los costes fiscales; los que utilizaremos para este cálculo.

Costes;

Amortización vehículo =	9.658,51 €
Financiación vehículo =	2.197,65 €
Personal de conducción=	27.375,14 €
Seguro vehículo =	6.607,08 €
Costes fiscales =	902,07 €
Dietas=	10.590,50 €
Σ Total =	57.330,94 €

De esta forma obtenemos un resultado de 57.330,94 €, este valor lo dividiremos por 1.800 horas y lo multiplicaremos por un coeficiente de trabajo diario de 9/24 que es el que representa la parte proporcional de lo que sería el tiempo de trabajo efectivo (según la Directiva 2002/15/CE), obteniendo un coste unitario de la permanencia de la plataforma a bordo del buque de; 11,94 €/h.

De tal forma podemos determinar que la expresión (1-5) representa el coste de la plataforma en el buque, por hora de navegación marítima.

$$C_{pb} = 11,94T_n \quad (\text{€/horas}) \quad (1-5)$$

donde; T_n = Tiempo de navegación para el tramo marítimo de la cadena de transporte, en el cual el buque navega (h).

1.4 Coste para el inventario terrestre

Consideramos que en cierto modo, estos costes dependen de las mercancías que se transporten y del tiempo total que estas están en tránsito. El tipo de coste para el tramo terrestre de la cadena de transporte se representa en la expresión (1-6).

$$C_{inv} = \alpha T_{ij}^t = \alpha 0,0266 d_{ij} \quad (\text{€/Plataforma}) \quad (1-6)$$

Donde;

T_{ij}^t = Tiempo del tramo terrestre de la cadena del transporte (h)

d_{ij} = Distancia del trayecto directo entre origen (i) y destino (j) (km)

α^7 = factor que dependerá del tipo de mercancía (€/h)

⁷ Se aplica este factor por el hecho de que no tienen el mismo coste de inventario los productos perecederos que los que no son perecederos.

2 Conclusiones

Determinaremos el acarreo terrestre como un modulo, el cual se descompone en los puntos citados en el presente estudio, teniendo como variables comunes la distancia entre origen y destino.

Realizado el estudio, podemos determinar el cálculo de los costes en tiempo (horas) mediante la expresión 1-3. Si disponemos de la distancia en kilómetros desde el origen (i) al destino (j), obtenemos un tiempo, el cual es el necesario para realizar el reparto de una mercancía mediante transporte por carretera.

Para lo relativo a los costes totales (€) se representan en la expresión 1-4, la cual una vez más, determinamos cuál será el coste económico con la variable mencionada en el punto anterior, introduciendo un origen (i) y un destino (j).

Es importante determinar el coste de la plataforma en el buque, porque en cierto modo son costes que no se deben contabilizar al TMCD, debido a que la mercancía está asociada a la plataforma o semirremolque y esta pertenece al camión propiamente. Los costes pues deben ser asumidos por el TC. Así y de esta forma mediante la expresión 1-5, calcularemos el coste que genera una plataforma trincada a la cubierta de un buque y que vendrá determinada en (€/horas), siendo esas horas función de la distancia marítima, es decir de las horas de navegación del buque.

Por último el coste de inventario, como ya se ha explicado, es el coste que la mercancía genera dentro del contenedor dependiendo de la tipología de esta, es decir los costes de productos perecederos tendrán un coste superior a los que no tienen fecha de caducidad próximas, se determinara mediante la expresión 1-6, siendo su unidad (€/Plataforma). Realizando el sumatorio de todos los costes y todos los tiempos, obtendremos una más que fiable aproximación para el cálculo de los costes y referentes a los acarreos terrestres que genera un transporte de mercancías rodada.